

## Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung



© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	iii
Pendahuluan.....	iv
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi.....	1
4 Peralatan dan sarana penunjang .....	2
5 Persyaratan pengukuran debit .....	5
6 Formulasi pengukuran debit.....	7
7 Pengukuran penampang basah .....	10
8 Kecepatan aliran .....	10
9 Koreksi kedalaman dan kecepatan aliran .....	13
10 Prosedur pengukuran .....	17
Lampiran A .....	21
Lampiran B .....	28
Bibliografi .....	34
Gambar 1 - Pengukuran kecepatan aliran dengan cara 1 titik, 2 titik dan 3 titik.....	8
Gambar 2 - Penampang melintang pengukuran debit dengan menggunakan penampang tengah (mid section) .....	9
Gambar 3 - Koreksi panjang juntaian tali di atas dan di dalam aliran.....	13
Gambar A.1 - Contoh alat ukur arus berporos horizontal .....	24
Gambar A.2 - Contoh foto alat pengukur debit dengan menggunakan bridge crane .....	25
Gambar A.3 - Contoh foto alat ukur lebar (kabel baja) .....	25
Gambar A.5 - Contoh pemberat tipe GFN 25 dan baling-baling tipe OSS B1 .....	26
Gambar A.6 - Contoh foto pengukuran dari jembatan menggunakan bridge crane .....	27
Gambar B.1 - Sketsa pelampung permukaan .....	28
Gambar B.2 - Contoh sketsa lintasan pelampung .....	29
Gambar B.3 - Contoh sketsa penampang pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung .....	30
Tabel 1 - Koreksi panjang juntaian penggantung di atas dan di dalam air .....	14
Tabel 2 - Kecepatan Hasil Koreksi arah aliran menyudut.....	15
Tabel A.1 - Contoh formulir untuk pengukuran debit dengan alat ukur arus .....	21
Tabel A.2 - Persamaan kecepatan aliran .....	23



Tabel B.1 - Kartu pengukuran penampang basah_pengukuran debit dengan pelampung ....	31
Tabel B.2 - Kartu pengukuran kecepatan aliran .....	32
Tabel B.3 - Kartu perhitungan debit .....	33





## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang “Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung” merupakan revisi dari tiga SNI berikut :

- 1) SNI 03-2414-1991, Tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka.
- 2) SNI 03-2819-1992, Tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus tipe baling-baling.
- 3) SNI 03-2820-1992, Tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan pelampung permukaan.

Revisi ini dimaksudkan sebagai panduan praktis dalam melaksanakan pengukuran debit aliran pada sungai dan saluran terbuka.

Dalam rangka penomoran RSNi menjadi SNI oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN), maka.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Komite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air melalui Gugus Kerja Balai Hidrologi.

Standar ini telah dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 4 November 2004 di Bandung, dilakukan penulisan ulang sesuai dengan Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 dan tanpa mengubah substansi, pada tanggal 11—13 September tahun 2013, serta dikonsensuskan ulang oleh Sub Komite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air pada tanggal 4 Nopember 2013, yang melibatkan para narasumber, pakar, dan lembaga terkait. Standar ini telah melalui proses jajak pendapat tanggal 18 Juli 2014 sampai 16 September 2014 dan perpanjangan sampai 16 Oktober 2014.



## Pendahuluan

Pengukuran debit dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan debit sesaat. Data pengukuran debit yang diperoleh dari suatu pos duga air pada kondisi muka air rendah, muka air sedang, dan muka air tinggi selanjutnya digunakan untuk pembuatan grafik hubungan antara tinggi muka air dengan debit (*Rating Curve*-Lengkung Aliran). Penggunaan metode, peralatan, dan pemilihan lokasi pengukuran sangat berpengaruh pada kualitas data pengukuran.

Ada beberapa metode pengukuran debit yang sering digunakan baik pengukuran langsung maupun pengukuran tidak langsung, demikian pula peralatan yang digunakan. Pelaksanaan pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka ini merupakan cara langsung menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Penggabungan panduan ini disusun untuk memberikan acuan kepada para pengguna tentang tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus tipe baling-baling dan pelampung.

Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka ini meliputi cara pengukuran, peralatan dan sarana penunjang serta persyaratan teknis dan nonteknis dalam pelaksanaan pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka yang telah lazim digunakan di Indonesia. Jenis alat ukur yang dibahas dalam tata cara ini adalah alat ukur kecepatan aliran tipe baling-baling, pelampung permukaan, dan alat ukur penampang basah.





## Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung

### 1 Ruang lingkup

Tata cara ini menetapkan cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung yang tidak terpengaruh oleh pasang surut atau arus balik.

### 2 Acuan normatif

SNI 03-2822, *Tata cara pembuatan lengkung debit dan tabel sungai/saluran terbuka dengan analisis grafis.*

### 3 Istilah dan definisi

#### 3.1

##### **alat ukur arus tipe baling-baling**

alat yang dilengkapi baling-baling untuk mengukur kecepatan arus sungai/saluran terbuka pada suatu titik

#### 3.2

##### **aliran air**

pergerakan air di alur sungai/saluran terbuka

#### 3.3

##### **alur sungai**

alur tempat mengalirnya aliran sungai

#### 3.4

##### **debit**

volume air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai/saluran terbuka per satuan waktu

#### 3.5

##### **distribusi kecepatan normal**

distribusi kecepatan aliran pada sungai/saluran terbuka yang merata dan lurus

#### 3.6

##### **jalur vertikal**

jalur ke arah vertikal pada suatu penampang melintang

#### 3.7

##### **kedalaman**

jarak yang diukur ke arah vertikal dari muka air ke dasar sungai/saluran terbuka



### 3.8

#### **pelampung permukaan**

bahan yang dapat terapung di permukaan air, tidak berubah sifat dan bentuknya, dengan ukuran antara 10 cm sampai dengan 100 cm, bagian yang tenggelam maksimum 25 % dari kedalaman aliran dan bagian yang tidak tenggelam berkisar antara 3 cm sampai dengan 10 cm

### 3.9

#### **penampang basah**

penampang melintang sungai/saluran terbuka yang dibatasi oleh dasar sungai/saluran terbuka dan muka air

### 3.10

#### **pengukuran debit**

proses pengukuran dan penghitungan kecepatan, kedalaman dan lebar aliran serta penghitungan luas penampang basah untuk menghitung debit sungai/saluran terbuka

### 3.11

#### **pos duga air**

bangunan pada sungai yang dipilih untuk mengamati tinggi muka air secara sistematis dan terus-menerus yang berfungsi untuk menentukan debit

### 3.12

#### **rai**

jarak antara suatu titik awal (*starting point*) di tepi sungai dengan jalur vertikal pada suatu penampang melintang sungai/saluran terbuka

### 3.13

#### **sungai**

alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air didalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan (PP No.38 Tahun 2011)

### 3.14

#### **tinggi muka air sungai/saluran terbuka**

elevasi muka air pada suatu penampang melintang sungai/saluran terbuka terhadap suatu titik elevasi tertentu

### 3.15

#### **titik vertikal**

suatu titik kedalaman dari permukaan air pada suatu jalur vertikal

## **4 Peralatan dan sarana penunjang**

### **4.1 Peralatan**

Peralatan yang digunakan untuk mengukur debit adalah alat ukur untuk kecepatan aliran dan alat ukur luas penampang basah.



#### 4.1.1 Alat ukur kecepatan aliran

##### 4.1.1.1 Alat ukur arus tipe baling-baling

Hal yang perlu diperhatikan pada alat ukur arus tipe baling-baling, adalah sebagai berikut.

- a) Alat ukur arus dengan baling-baling terdiri atas dua jenis, yaitu:
  - 1) Baling-baling dengan sumbu horizontal (Gambar A.1, Lampiran A).
  - 2) Baling-baling bentuk canting dengan sumbu vertikal.
- b) Pada saat digunakan untuk mengukur debit alat ukur arus dilengkapi dengan:
  - 1) Alat hitung putaran baling-baling.
  - 2) Alat ukur kedalaman berupa tongkat baja atau kabel baja yang dilengkapi dengan pemberat dan penunjuk kedalaman dengan ketelitian 1 cm (lihat Gambar A.4, Lampiran A)
  - 3) Alat ukur lebar yang tidak elastis dengan ketelitian 1 cm (lihat Gambar A.3, Lampiran A).
  - 4) Alat ukur waktu dengan ketelitian 1 detik.
  - 5) Alat penghitung yang dapat menghitung luas penampang basah, kecepatan arus air dan debit secara langsung.

##### 4.1.1.2 Pelampung

Pelampung yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran adalah:

- a) Bahan yang dapat terapung di permukaan air yang terbuat dari gabus, kayu dan lain-lain.
- b) Bahan yang sebagian tenggelam di bawah permukaan air yang terbuat dari bambu yang diberi pemberat batu pada bagian bawah pelampung.

Catatan : Selain alat ukur di atas dapat menggunakan alat ukur arus tipe radio current meter/azas dopler dan tipe frekuensi

#### 4.1.2 Alat ukur luas penampang basah

##### 4.1.2.1 Alat ukur lebar

Alat ukur lebar yang dapat digunakan antara lain:

- a) Kabel baja dengan ukuran diameter 3 mm sampai dengan 5 mm dengan panjang tertentu dilengkapi dengan tanda pada setiap panjang untuk kelipatan 0,5 m dan 1 m (lihat Gambar A.3, Lampiran A).
- b) Alat penunjuk lebar yang dipasang pada kabel melintang sungai.
- c) Alat penyipat ruang (*teodolit*) dan alat penyipat datar (*waterpass*).

##### 4.1.2.2 Alat ukur kedalaman

Alat ukur kedalaman yang dapat digunakan antara lain:

- a) Batang pengukur terbuat dari logam yang dilengkapi dengan skala kedalaman.



- b) Kabel lengkap dengan alat penggulung dan penunjuk kedalaman yang digunakan untuk pengukuran dari atas perahu, jembatan atau kereta gantung (lihat Gambar A.4, Lampiran A).
- c) Alat perum gema (*echo sounder*).

## 4.2 Sarana penunjang

### 4.2.1 Alat duga muka air

Alat duga muka air ini digunakan untuk mengetahui elevasi muka air pada saat pengukuran debit sehingga hasil pengukuran debit dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan hubungan antara ketinggian muka air dan besaran debit. Alat duga muka air yang lazim digunakan terdiri atas dua macam, yaitu :

- a) Pos duga air biasa (PDAB), harus dibuat dan dipasang dengan mempertimbangkan ketentuan berikut.
  - 1) Harus dibuat dari bahan (kayu, enamel) yang tahan air dan awet yang dilengkapi dengan pembagian skala dan dicat dengan warna yang jelas agar mudah dibaca.
  - 2) Harus dipasang pada konstruksi tiang yang dipancang di tepi sungai atau saluran terbuka; pemasangannya tegak lurus atau miring dengan membentuk sudut  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  atau  $60^\circ$  terhadap bidang horizontal; dan harus dipasang dengan kuat dan terlindung dari benturan benda keras yang terbawa oleh aliran air.
  - 3) Kedudukan nol *peilskal* harus berada pada kedalaman 0,5 m di bawah muka air terendah, dan puncak *peilskal* harus pada posisi 1 m di atas muka air tertinggi pada musim penghujan dan harus diikatkan terhadap titik tetap lokal, yang sebaiknya telah diikatkan dengan jejaring triangulasi.
  - 4) PDAB harus disusun secara baik sehingga mampu untuk mengukur kisaran muka air terendah hingga tertinggi yang mungkin terjadi di suatu penampang sungai/saluran terbuka.
- b) Pos duga air otomatis (PDAO), yang lazim digunakan adalah:
  - 1) Alat duga muka air dengan silinder (drum) tegak.
  - 2) Alat duga muka air dengan silinder mendatar.
  - 3) Alat duga muka air jenis tekanan (*pressure transducer*).
- c) Alat duga air jenis lain, di antaranya jenis gelembung gas, jenis sensor dan jenis kertas berlubang atau pendugaan dengan sinar.

### 4.2.2 Perlengkapan pengukuran debit

Perlengkapan pengukuran debit yang biasa digunakan:

- a) alat ukur kecepatan arus (*current meter*) dan pemberat;
- b) *stop watch*;
- c) meteran minimal 3 meter dengan ketelitian 1 mm;
- d) kalkulator;
- e) formulir isian perhitungan debit dan alat-alat tulis lainnya;
- f) map lapangan yang tahan terhadap air;
- g) alat tulis.



- h) peralatan bantu yang mungkin diperlukan:
  - 1) papan duga khusus;
  - 2) alat penyipat ruang dan alat penyipat datar;
  - 3) *bridge crane* alat bantu pengukuran debit yang digunakan di jembatan (lihat Gambar A.2, Lampiran A);
  - 4) *winch cable way* alat bantu pengukuran debit yang digunakan di tepi sungai;
  - 5) *sounding reel* alat bantu pengukuran debit yang dapat digunakan di perahu, jembatan dan kereta gantung (lihat Gambar A.4, Lampiran A);
  - 6) tali tambang yang tidak elastis atau kabel baja (lihat Gambar A.3, Lampiran A);
  - 7) sepatu lapangan yang tahan terhadap air;
  - 8) jas hujan;
- i) perahu dengan kapasitas minimal tiga orang:
  - 1) perahu kayu/aluminium;
  - 2) motor tempel;
  - 3) baju pelampung yang tidak mudah robek;

### 4.3 Kalibrasi *current meter*

Untuk mendapatkan ketelitian dalam pengukuran debit, peralatan pengukuran debit terutama *current meter* harus dikalibrasi.

Kalibrasi dilakukan sesuai dengan ketentuan yang tertera pada kartu/label kalibrasi kecuali jika telah terjadi hal-hal yang mengakibatkan perubahan pada alat yang bersangkutan misalnya: jatuh, membentur benda keras, dan tercelup ke dalam cairan asam.

Kalibrasi *current meter* dilakukan dengan menggunakan *calibration flume* dan dilaksanakan oleh instansi yang berwenang dan telah terakreditasi.

## 5 Persyaratan pengukuran debit

### 5.1 Persyaratan teknis

#### 5.1.1 Pemilihan lokasi pengukuran debit

Lokasi pengukuran debit dipilih dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut.

- a) Tepat pada pos duga muka air atau di sekitar pos duga muka air sepanjang tidak ada perubahan bentuk penampang yang mencolok dan penambahan atau pengurangan debit.
- b) Alur sungai/saluran terbuka harus lurus sepanjang minimal 3 kali lebar sungai/saluran pada saat banjir/muka air tertinggi (MATT).
- c) Distribusi garis aliran diperkirakan merata dan tidak ada aliran yang memutar.
- d) Aliran tidak terganggu oleh adanya tumbuhan air dan sampah.
- e) Tidak terpengaruh peninggian muka air sebagai akibat adanya pasang surut air laut, pertemuan sungai, dan bangunan hidraulik.
- f) Tidak terpengaruh aliran lahar.



- g) Penampang melintang pengukuran perlu diupayakan agar tegak lurus terhadap alur sungai.
- h) Kedalaman pengukuran minimal 3 sampai dengan 5 kali diameter baling-baling alat ukur arus yang digunakan.
- i) Apabila pengukuran debit dilakukan pada lokasi bendung, maka harus dilakukan di hilir bendung atau di hulu bendung sampai dengan tidak ada pengaruh pengempangan. Pengukuran pada lokasi bendung biasanya dilakukan untuk keperluan kalibrasi bendung dengan mengubah bukaan pintu.

### **5.1.2 Pertimbangan hidraulik**

Kondisi hidraulik yang harus diperhatikan di lokasi pengukuran debit, yaitu sebagai berikut:

- a) Mempunyai pola aliran yang seragam dan mendekati kondisi aliran subkritik.
- b) Tidak terkena pengaruh arus balik (pengempangan) dan aliran lahar.

### **5.1.3 Lama dan periode pelaksanaan**

Ketentuan yang perlu diperhatikan:

- a) Lama pengukuran debit tergantung dari perubahan keadaan aliran pada saat pengukuran dilaksanakan:
  - 1) Pada saat aliran rendah pengukuran debit dilaksanakan dua kali dalam sekali periode waktu pengukuran (bolak-balik di penampang basah yang sama).
  - 2) Pada saat banjir pengukuran debit dilaksanakan satu kali dalam periode waktu pengukuran.
- b) Periode pelaksanaan pengukuran tergantung dari musim:
  - 1) Pada musim kemarau pengukuran debit dilaksanakan cukup sekali dalam satu bulan.
  - 2) Pada musim penghujan pengukuran dilaksanakan berulang kali, paling sedikit 3 kali untuk setiap bulan.
  - 3) Pada musim peralihan pengukuran dilaksanakan paling sedikit 2 kali dalam sebulan.

### **5.1.4 Keandalan peralatan dan sarana penunjang**

Peralatan dan sarana penunjang harus dipelihara agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, antara lain alat ukur arus harus dikalibrasi secara berkala, dibersihkan dan dirawat dengan baik.

## **5.2 Persyaratan nonteknis**

Persyaratan non teknis yang harus diperhatikan adalah kemampuan tim pengukur. Tim pengukur minimal terdiri atas tiga orang yang mempunyai kemampuan sebagai berikut.

- a) Pernah mendapatkan pendidikan dan pelatihan pengukuran debit di instansi yang berwenang.
- b) Bertanggung jawab dan disiplin/hasil pengukuran dapat dipertanggungjawabkan.
- c) Kesehatan cukup baik.



## 6 Formulasi pengukuran debit

### 6.1 Prinsip pengukuran debit

Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur kecepatan aliran, luas penampang basah, dan kedalaman. Penampang basah dihitung berdasarkan lebar rai dan muka air.

Debit dapat dihitung dengan rumus :

$$q_x = V_x a_x \quad (1)$$

$$Q = \sum_{x=1}^n q_x \quad (2)$$

Keterangan:

- $q_x$  adalah debit pada bagian ke x, ( $m^3/s$ )
- $V_x$  adalah kecepatan aliran rata-rata pada bagian penampang ke x ( $m/s$ );
- $a_x$  adalah luas penampang basah pada bagian ke x, ( $m^2$ );
- $Q$  adalah debit seluruh penampang, ( $m^3/s$ );
- $n$  adalah banyaknya penampang bagian.

### 6.2 Perhitungan kecepatan aliran

#### 6.2.1 Kecepatan aliran tiap titik

Kecepatan aliran tiap titik dihitung dengan rumus:

$$N < n_i, V = p N + q \quad (3)$$

$$N > n_i, V = r N + s \quad (4)$$

Keterangan:

- $N$  adalah jumlah putaran baling-baling, dibagi dengan waktu pengukuran;  $N = \frac{R}{T}$
- $R$  adalah jumlah putaran baling-baling;
- $T$  adalah waktu pengukuran
- $n_i$  adalah batas jumlah putaran baling-baling
- $V$  adalah kecepatan aliran, ( $m/s$ );
- $p, q, r, s$  adalah koefisien berdasarkan kalibrasi *current meter* alat ukur arus

#### 6.2.2 Kecepatan aliran rata-rata pada jalur vertikal

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan pada setiap jalur vertikal dengan metode 1 titik, 2 titik, dan 3 titik tergantung dari kedalaman air dan ketelitian yang diinginkan (lihat Gambar 1).

Kecepatan rata-rata dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan antara lain:

- a) apabila menggunakan cara satu titik :

$$\bar{V} = V_{0,6} \quad (5)$$

- b) apabila menggunakan cara dua titik :

$$\bar{V} = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \quad (6)$$



c) apabila menggunakan cara tiga titik :

$$\bar{v} = \left[ \left( \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} \right) + v_{0,6} \right] \times \frac{1}{2} \quad (7)$$

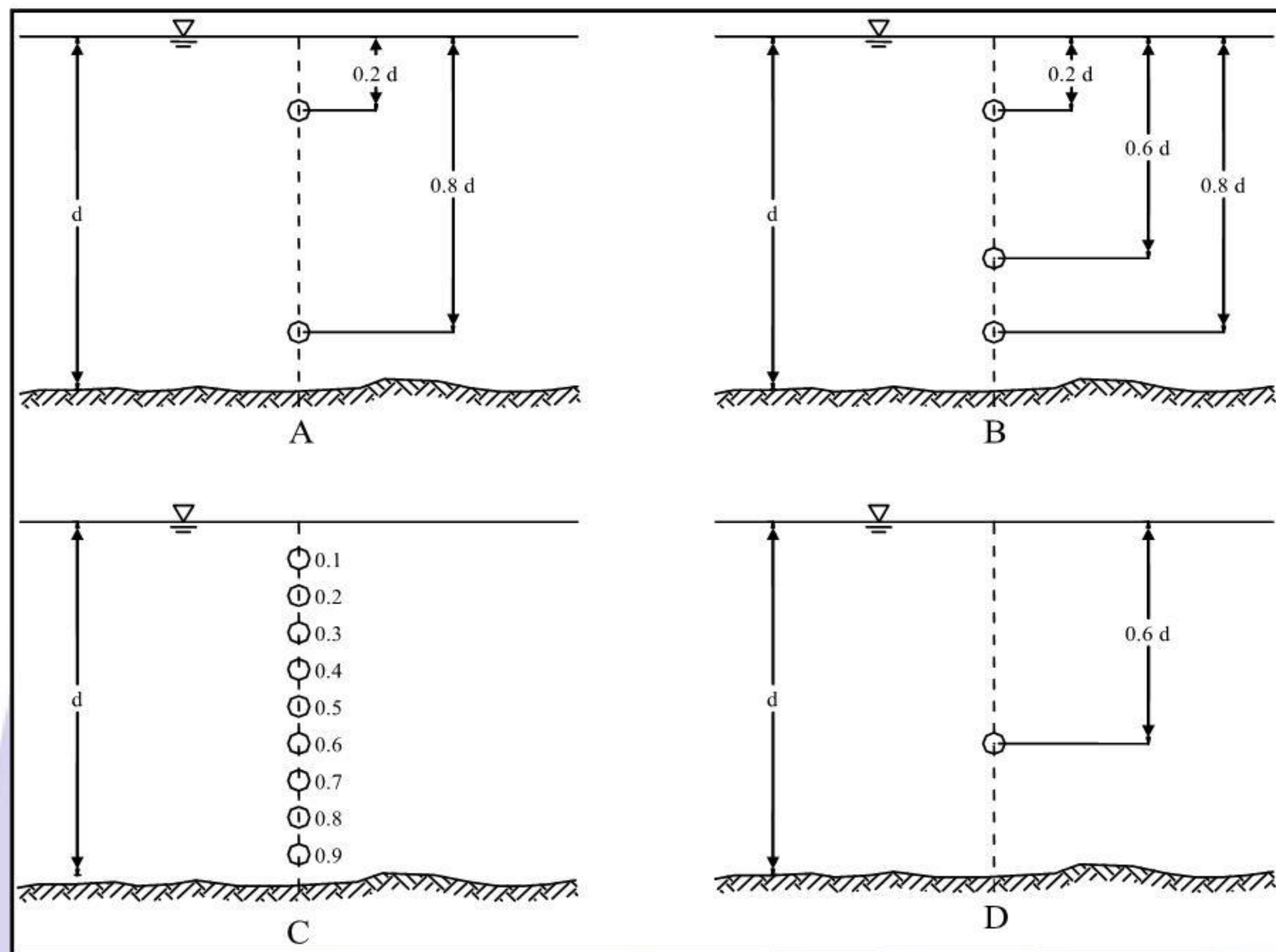
Keterangan:

$\bar{v}$  adalah kecepatan aliran rata-rata pada suatu vertikal, (m/s);

$v_{0,2}$  adalah kecepatan aliran pada titik 0,2 d, (m/s);

$v_{0,6}$  adalah kecepatan aliran pada titik 0,6 d, (m/s);

$v_{0,8}$  adalah kecepatan aliran pada titik 0,8 d, (m/s).



Gambar 1 - Pengukuran kecepatan aliran dengan cara 1 titik, 2 titik dan 3 titik

### 6.2.3 Perhitungan penampang basah

Luas penampang basah dihitung dari kedalaman air dan lebar sungai (lihat Gambar 2). Kedalaman air diperoleh dengan cara mengukur kedalaman air pada titik pengukuran dengan menggunakan tongkat penduga atau kabel pengukur. Luas penampang basah dihitung dengan menggunakan rumus:

$$a_x = \frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} d_x \quad (8)$$

$$A = \sum_{x=1}^n a_x \quad (9)$$

Keterangan:

$a_x$  adalah luas penampang basah pada bagian ke x, (m<sup>2</sup>);

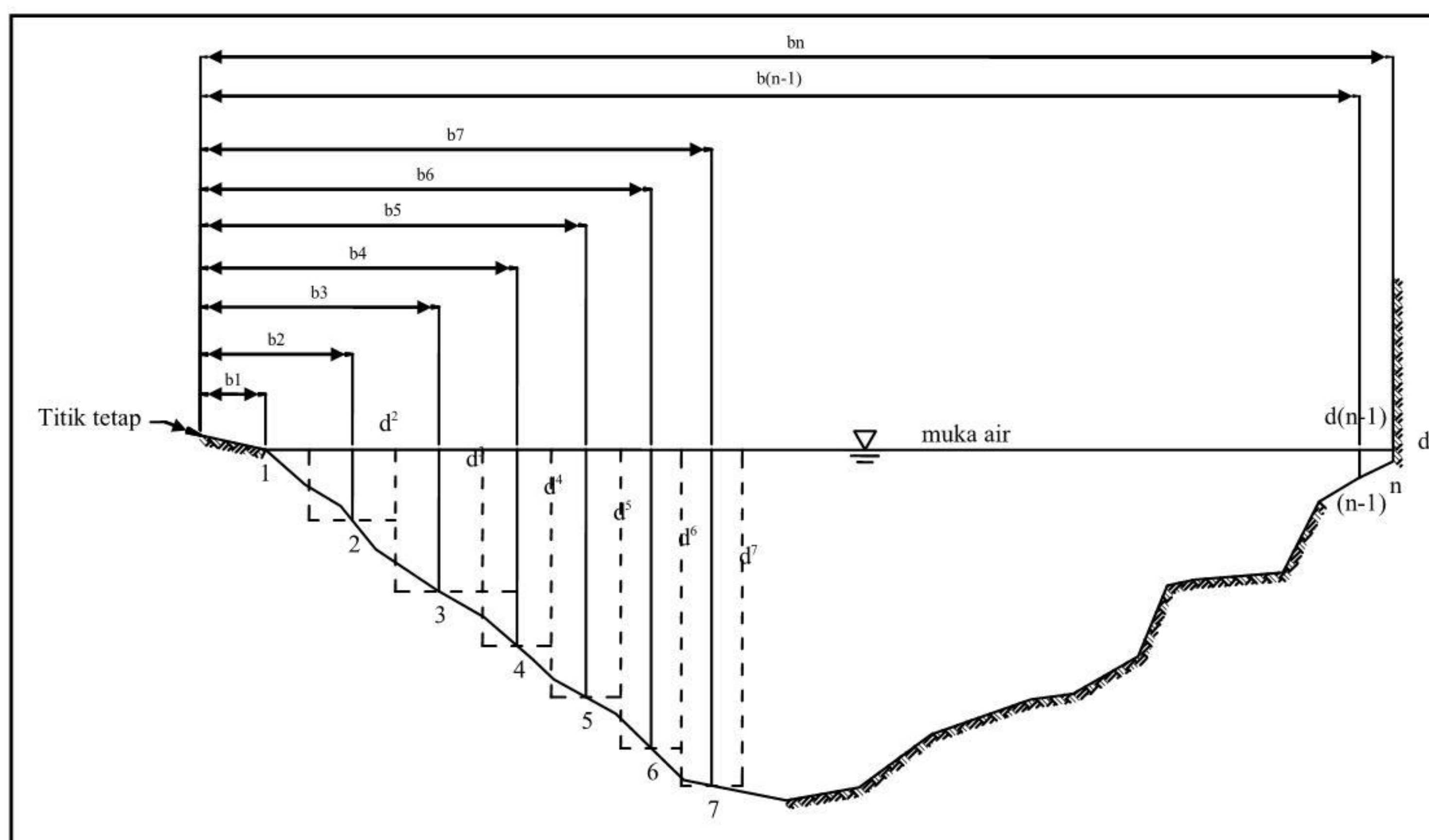
$b_{(x+1)}$  adalah jarak titik vertikal sesudah titik vertikal ke x dari titik tetap, (m);

$b_{(x-1)}$  adalah jarak titik vertikal sebelum titik vertikal ke x dari titik tetap, (m);

$d_x$  adalah kedalaman pada titik vertikal ke x, (m);

A adalah luas seluruh penampang basah, (m<sup>2</sup>).





**Gambar 2 - Penampang melintang pengukuran debit dengan menggunakan penampang tengah (*mid section*)**

#### 6.2.4 Tinggi muka air rata-rata

Tinggi muka air rata-rata pada saat pengukuran dihitung dengan :

- a) Bila perbedaan tinggi muka air pada saat permulaan dan akhir pengukuran kurang dari 10 cm, rata-rata tinggi muka air dihitung dengan rumus:

$$\bar{H} = \frac{H_a + H_z}{2} \quad (10)$$

- b) Bila perbedaan tinggi muka air pada saat permulaan dan akhir pengukuran lebih besar atau sama dengan 10 cm, rata-rata tinggi muka air dihitung dengan rumus:

$$\bar{H} = \frac{q_1 h_1 + q_2 h_2 + \dots + q_n h_n}{Q} \quad (11)$$

Keterangan:

$\bar{H}$	adalah rata-rata tinggi muka air pengukuran, (m);
$H_a$	adalah tinggi muka air pada saat mulai pengukuran, (m);
$H_z$	adalah tinggi muka air pada saat akhir pengukuran, (m);
$q_1, q_2 \dots q_n$	adalah debit interval waktu 1, 2, .....n, (m <sup>3</sup> /s);
$h_1, h_2 \dots h_n$	adalah tinggi muka air rata-rata pada interval waktu 1, 2, .....n, (m).

#### 6.2.5 Kecepatan air rata-rata pada penampang sungai atau saluran terbuka.

Kecepatan aliran rata-rata dihitung dengan rumus:

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

Keterangan:

$\bar{v}$	adalah kecepatan aliran rata-rata pada seluruh penampang, (m/s);
$A$	adalah luas seluruh penampang basah, (m <sup>2</sup> );
$Q$	adalah debit seluruh penampang, (m <sup>3</sup> /s).



## 7 Pengukuran penampang basah

### 7.1 Pengukuran lebar

Pengukuran lebar dilakukan dengan menggunakan alat ukur jarak. Jenis alat ukur lebar harus disesuaikan dengan lebar penampang basah dan sarana penunjang yang tersedia.

### 7.2 Pengukuran kedalaman

Pengukuran kedalaman dilaksanakan dengan menggunakan alat ukur kedalaman di setiap vertikal yang telah diukur jaraknya. Pada kondisi debit sungai tidak berubah dengan cepat, jarak setiap vertikal harus diusahakan serapat mungkin agar debit tiap subbagian penampang tidak lebih dari 1/5 bagian dari debit seluruh penampang basah. Hal ini tergantung dari lebar sungai dan distribusi kecepatan.

Pengukuran kedalaman dilakukan dengan menggunakan kabel dan pemberat, serta diperlukan koreksi kedalaman, apabila posisi kabel membuat sudut lebih besar daripada  $10^\circ$  terhadap garis vertikal.

## 8 Kecepatan aliran

### 8.1 Cara menentukan kecepatan aliran

Kecepatan aliran sungai/saluran terbuka dapat ditentukan dengan cara mengukur langsung dan atau dengan cara tidak langsung. Kecepatan aliran dapat diukur dengan berbagai alat, antara lain: alat ukur arus dan pelampung, atau dapat dihitung berdasarkan berbagai faktor, antara lain: faktor kekasaran, kemiringan energi dan tinggi muka air pada penampang kendali buatan.

### 8.2 Kalibrasi hasil pengukuran kecepatan aliran

Jika memungkinkan, semua hasil pengukuran kecepatan aliran yang dilakukan tidak menggunakan alat ukur arus harus diverifikasi dengan pengukuran debit dengan menggunakan alat ukur arus.

### 8.3 Pengukuran langsung kecepatan aliran

#### 8.3.1 Pengukuran kecepatan aliran dengan alat ukur arus

##### 8.3.1.1 Jenis pengukuran dengan alat ukur arus

Pengukuran kecepatan aliran langsung dengan alat ukur arus dapat dilaksanakan dengan cara merawas, dengan bantuan wahana apung perahu, jembatan atau menggunakan kereta gantung. Perbedaan cara pelaksanaan pengukuran kecepatan aliran ini adalah sebagai berikut.

##### a) Merawas

Pengukuran debit dengan cara merawas adalah pengukuran yang dilakukan tanpa bantuan wahana (perahu, kereta gantung, *winch cable way* dan lain-lain) yaitu petugas pengukuran langsung masuk ke dalam sungai. Pengukuran dengan cara ini perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Dilakukan pada lokasi sebatas pengukur mampu merawas.
- 2) Posisi berdiri pengukur harus berada di hilir alat ukur arus dan tidak boleh menyebabkan berubahnya garis aliran pada jalur vertikal yang diukur.



- 3) Posisi alat ukur harus berada di depan pengukur.

b) Menggunakan perahu

Pengukuran debit dengan bantuan wahana apung perahu perlu memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Apabila tidak memungkinkan dilakukan pengukuran dengan merawas.
- 2) Untuk kedalaman air kurang dari 3 m, pengukuran kecepatan arus cukup dilakukan dengan memasang alat ukur arus pada tongkat penduga yang juga berfungsi sebagai alat ukur kedalaman. Akan tetapi, untuk kedalaman air lebih besar atau sama dengan 3 m, alat ukur arus harus digantungkan pada kabel penggantung yang juga berfungsi sebagai alat pengukur kedalaman yang dilengkapi dengan alat penggulung kabel dan pemberat yang disesuaikan dengan kondisi aliran.
- 3) Posisi alat ukur harus berada di depan perahu dengan perahu diarahkan ke hulu.
- 4) Apabila posisi kabel menggantung tidak tegak lurus muka air, dan membentuk sudut  $> 10^0$  terhadap garis vertikal, kedalaman aliran harus dikoreksi menggunakan Tabel 1.

c) Menggunakan jembatan

Pengukuran debit dari atas jembatan perlu memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Posisi pilar jembatan perlu diperhitungkan dalam penentuan pias-pias subbagian penampang basah.
- 2) Posisi alat berada di hulu jembatan.
- 3) Apabila posisi kabel penggantung tidak tegak lurus muka air dan membentuk sudut  $> 10^0$  terhadap garis vertikal, kedalaman aliran harus dikoreksi dengan menggunakan Tabel 1.

d) Menggunakan kereta gantung

Pengukuran debit dengan menggunakan kereta gantung perlu memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Posisi kabel penggantung alat ukur arus apabila tidak tegak lurus muka air dan membentuk sudut  $> 10^0$  terhadap garis vertikal (lihat Gambar 3), maka kedalaman aliran harus dikoreksi dengan menggunakan Tabel 1.
- 2) Pengukuran lebar sungai/saluran terbuka menggunakan alat ukur lebar dan atau alat ukur sipat datar.

### 8.3.1.2 Kecepatan aliran rata-rata

Kecepatan aliran rata-rata di suatu bagian penampang basah diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan rata-rata dari titik kedalamanannya.

Kecepatan aliran rata-rata di suatu vertikal diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan aliran satu, dua atau tiga titik, yang pelaksanaannya tergantung pada kondisi aliran, kedalaman aliran, lebar aliran dan sarana yang tersedia. Jenis cara pengukuran tersebut adalah sebagai berikut.

- a) Pengukuran kecepatan aliran satu titik, dilaksanakan pada 0,6 kedalaman (d) atau 0,2 d dari permukaan air, dengan ketentuan sebagai berikut.
  - 1) Pada 0,6 d, dilaksanakan apabila kedalaman air kurang dari 0,75 m.



- 2) Pada 0,6 d dari permukaan air, juga dilakukan untuk mengukur debit banjir apabila cara pengukuran pada 0,2 d dan 0,8 d tidak dapat dilaksanakan karena aliran berubah cepat sehingga waktu yang tersedia relatif pendek.
- b) Pengukuran kecepatan aliran dua titik, dilaksanakan pada 0,2 d dan 0,8 d dari permukaan air, apabila kedalaman air lebih dari 0,75 m,.
- c) Pengukuran kecepatan aliran tiga titik, dilaksanakan pada titik 0,2 d, 0,6 d dan 0,8 d dari permukaan air.

### 8.3.2 Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung

Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung hanya disarankan, apabila pengukuran kecepatan dengan alat ukur arus tidak dapat dilaksanakan. Ketentuan pelaksanaannya adalah sebagai berikut.

- a) Menggunakan jenis pelampung permukaan atau pelampung yang sebagian tenggelam di dalam aliran dan tergantung pada bahan yang tersedia dan kondisi aliran.
- b) Lintasan pelampung harus mudah diamati, kalau perlu pelampung diberi tanda khusus terutama untuk pengukuran debit pada malam hari.
- c) Pengukuran kecepatan aliran harus dipilih pada bagian alur yang lurus, dan memenuhi salah satu syarat berikut.
  - 1) bagian alur yang lurus paling sedikit tiga kali lebar aliran, atau.
  - 2) lintasan pelampung pada bagian alur yang lurus paling sedikit memerlukan waktu tempuh lintasan 40 detik.
- d) Adanya fasilitas untuk melemparkan pelampung, misalnya jembatan.
- e) Lintasan pelampung paling sedikit mencakup tiga titik dan di setiap titik lintasan paling sedikit dilakukan dua kali pengukuran.
- f) Kecepatan aliran dapat dihitung dengan rumus :

$$v = c \times \frac{L}{t} \quad (13)$$

Keterangan:

- v adalah kecepatan aliran, (m/s)  
 L adalah panjang lintasan pelampung, (m)  
 t adalah waktu tempuh lintasan pelampung, (s)  
 c adalah koefisien kecepatan

- g) Kecepatan rata-rata yang diperoleh harus dikalikan dengan suatu koefisien yang ditentukan dari hasil perbandingan kecepatan aliran yang diukur menggunakan pelampung dengan kecepatan aliran yang diukur menggunakan alat ukur arus (besarnya k berkisar antara 0,50 – 0,98)

$$\bar{v} = k \times v = k \times c \times \frac{L}{t} \quad (14)$$

Keterangan:

- $\bar{v}$  adalah kecepatan aliran rata-rata pada rai vertikal, (m/s);  
 k adalah koefisien  
 v adalah kecepatan aliran, (m/s);



## 9 Koreksi kedalaman dan kecepatan aliran

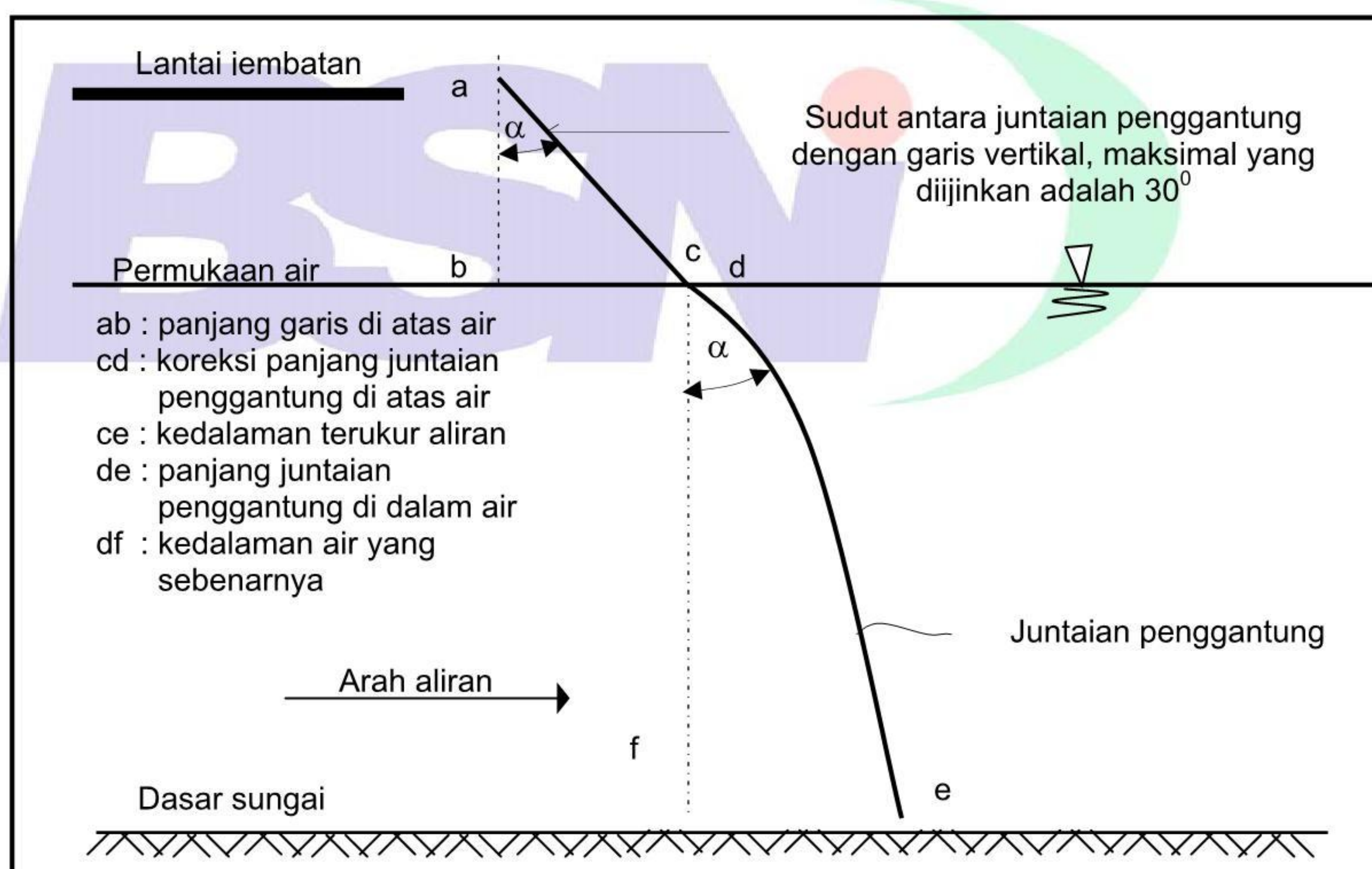
### 9.1 Koreksi panjang juntaian tali di atas dan di dalam aliran

Koreksi panjang juntaian penggantung alat ukur perlu diterapkan pada pengukuran aliran dengan alat ukur arus untuk kondisi:

- Pengukuran aliran dilakukan dari atas jembatan atau kereta gantung yang letaknya tinggi di atas muka air sungai.
- Gaya dorong aliran yang bekerja pada alat ukur mengakibatkan juntaian tali penggantung membentuk sudut lebih besar daripada  $10^\circ$  terhadap garis vertikal.

Pada kondisi ini perlu diterapkan upaya untuk mengurangi pengaruh gaya dorong aliran dengan menggunakan pemberat yang lebih besar dan atau menghitung kedalaman aliran dan titik kedalaman pengukuran yang sebenarnya.

Untuk mendapatkan ketelitian pengukuran, sudut juntaian penggantung diusahakan agar tidak lebih besar daripada  $30^\circ$ . Koreksi panjang juntaian tali baik untuk di atas maupun di dalam aliran dijelaskan pada Gambar 3 dan koefisien koreksi panjang juntaian penggantung dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3 - Koreksi panjang juntaian tali di atas dan di dalam aliran



Tabel 1 - Koreksi panjang juntaian penggantung di atas dan di dalam air

Sudut juntaian penggantung ( $\alpha^0$ )	Koreksi juntaian di atas air (%)	Koreksi juntaian di dalam air (%)
10	1,54	0,50
12	2,23	0,72
14	3,06	0,98
16	4,03	1,28
18	5,15	1,64
20	6,42	2,04
22	7,85	2,48
24	9,46	2,96
26	11,26	3,50
28	13,26	4,08
30	15,47	4,72

Contoh penerapan :

a) Dalam suatu pengukuran aliran diperoleh data sebagai berikut.

- 1) jarak antara titik penggantung - muka air (ab) = 18 m
- 2) kedalaman aliran terukur (ce) = 8 m
- 3) sudut juntaian penggantung-garis vertikal ( $\alpha$ ) =  $20^0$

b) Dengan bantuan Tabel Koreksi (Tabel 1) dapat diketahui:

- a. koreksi juntaian di atas air untuk  $\alpha = 20^0$  = 6,42% = 0,0642
- 2) nilai panjang koreksi =  $18 \times 0,0642$   
= 1,16 m
- 3) panjang juntaian tali di dalam air (de) =  $8 - 1,16$  m  
= 6,84 m

c) Dengan bantuan Tabel Koreksi dapat diketahui:

- 1) koreksi juntaian di dalam air untuk  $\alpha = 20^0$  = 2,04% = 0,0204
- 2) kedalaman aliran sesungguhnya =  $6,84 - 6,84 \times 0,0204$   
= 6,70 m

## 9.2 Koreksi arah aliran menyudut

Pada kondisi aliran yang terjadi di lokasi pengukuran membentuk sudut terhadap penampang pengukuran (Gambar 4) dan hal ini tidak dapat dihindari, maka hal-hal berikut perlu dilakukan:

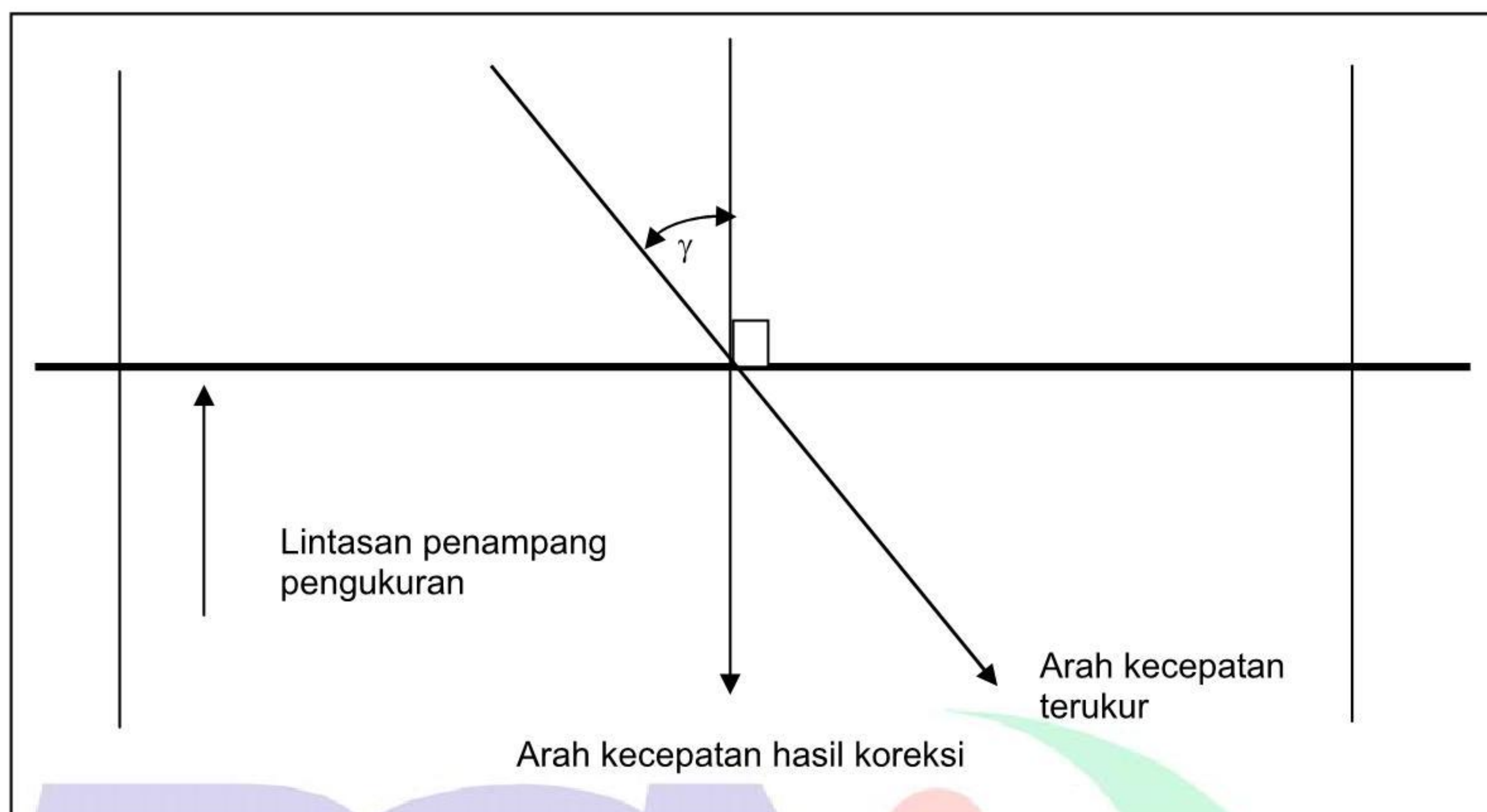
- a) ukur besar sudut yang dibentuk oleh aliran terhadap garis yang tegak lurus terhadap penampang pengukuran.



- b) koreksi harga kecepatan aliran untuk menghitung debit aliran dengan rumus:

$$V_{\text{terkoreksi}} = V_{\text{terukur}} \times \cos \gamma \quad (15)$$

seperti pada Tabel 2.



**Gambar 4 - Koreksi arah aliran menyudut**

**Tabel 2 - Kecepatan Hasil Koreksi arah aliran menyudut**

Kecepatan Terukur	Kecepatan terkoreksi (m/s) untuk besar sudut ( $\gamma^0$ )								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0,1	0,098	0,094	0,087	0,077	0,064	0,050	0,034	0,017	0,000
0,5	0,492	0,470	0,433	0,383	0,321	0,250	0,171	0,087	0,000
1,0	0,985	0,940	0,866	0,766	0,643	0,500	0,342	0,174	0,000
1,5	1,477	1,410	1,299	1,149	0,964	0,750	0,513	0,260	0,000
2,0	1,970	1,879	1,732	1,532	1,286	1,000	0,684	0,347	0,000
2,5	2,462	2,349	2,165	1,915	1,607	1,250	0,855	0,434	0,000
3,0	2,954	2,819	2,598	2,298	1,928	1,500	1,026	0,521	0,000

### 9.3 Koreksi aliran berubah cepat

#### 9.3.1 Masalah kondisi aliran berubah cepat

Pada kondisi aliran berubah sangat cepat, biasanya masalah-masalah berikut akan timbul.

- Laju kenaikan/penyurutan hidrograf banjir berlangsung tidak langgeng/tetap sehingga sukar diprediksi.
- Terjadi pergerakan sedimen dalam jumlah yang sangat besar dan akan terbentuk corak dasar sungai 'meriak' atau 'menggelombang', sehingga semakin lama waktu pengukuran aliran, semakin rendah ketelitian pengukuran aliran yang diperoleh.



### 9.3.2 Koreksi atas kondisi aliran berubah cepat

Untuk melakukan koreksi terhadap perubahan aliran yang cepat ini, disarankan hal-hal sebagai berikut.

- Teknik pengukuran yang cepat akan memadai untuk mengetahui besar debit banjir.
- Laju perubahan debit pada sesi banjir mendekati puncak biasanya berlangsung sangat cepat, sehingga pengukuran aliran pada kondisi ini sukar dilakukan dengan baik.
- Pengukuran lebih menguntungkan jika dilakukan pada saat banjir telah melampaui puncak dan berada pada sesi menyurut.

### 9.3.3 Persiapan awal pengukuran aliran berubah cepat

Persiapan awal pengukuran aliran berubah cepat yaitu sebagai berikut.

- Berdasarkan grafik hubungan elevasi dan debit (*rating curve*) yang ada, evaluasi tinggi-tinggi muka air memberikan besar perubahan debit lebih dari 10%.
- Pilih kondisi-kondisi dengan perubahan debit sebesar 10% terjadi pada selang waktu kurang dari 1 jam.
- Untuk setiap selang perubahan, hitung laju perubahan tinggi muka air dalam mm/jam dan mm/5 menit.
- Hasil dari analisis tersebut akan berupa tabel yang menunjukkan hubungan antara waktu yang diperlukan untuk perubahan debit sebesar 10% dan perubahan tinggi muka air terkait untuk sejumlah variasi kondisi muka air.
- Tabel ini selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk menentukan metode pengukuran aliran yang optimum sesuai dengan kondisi debit sungai.

### 9.3.4 Pada saat tim ukur tiba di lokasi pengukuran aliran berubah cepat

Hal yang dilakukan jika pada saat tiba di lokasi pengukuran aliran berubah cepat, adalah sebagai berikut.

- Perhatikan elevasi muka air.
- Ukur laju kenaikan/penurunan muka air dalam 5 menit.
- Berdasarkan data laju perubahan muka air dan dengan bantuan tabel acuan yang telah dipersiapkan, perkirakan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi perubahan debit sebesar 10% dengan langkah sebagai berikut.
  - Jika perubahan debit dalam kurun waktu 1 jam lebih kecil dari 10% (laju perubahan tinggi muka air dalam waktu 5 menit lebih lambat dari harga terkecil yang ada pada Tabel Acuan), maka terapkan cara pengukuran aliran yang telah dibahas di muka.
  - Jika perubahan debit dalam perioda waktu 1 jam lebih besar dari 10%, terapkan prosedur untuk kondisi aliran berubah sangat cepat.

### 9.3.5 Pengukuran aliran berubah sangat cepat

Yang harus diperhatikan ketika melakukan pengukuran aliran berubah cepat adalah sebagai berikut.

- Lama pengamatan dengan alat ukur aliran untuk tiap titik vertikal adalah cukup 30 detik.
- Lakukan satu titik pengukuran pada kedalaman 0,5 d pada tiap bidang verikal.



- c) Kecepatan aliran rata-rata untuk bidang vertikal tersebut dihitung berdasarkan rumus:  

$$\bar{v} = 0,96 v_{0,5d} \quad (16)$$
- d) Catat elevasi muka air untuk setiap titik pengukuran.
- e) Debit aliran dihitung dengan metode penampang tengah.
- f) Jika muka air berubah lebih besar dari 5% selama pengukuran, debit dihitung berdasarkan kedalaman aliran untuk setiap vertikal. Jangan gunakan elevasi muka air rata-rata.

## 10 Prosedur pengukuran

### 10.1 Prosedur pengukuran debit dengan alat ukur arus tipe baling-baling

Lakukan pengukuran dengan tahapan sebagai berikut.

- a) Pilih penampang melintang sungai/saluran terbuka di lokasi yang ditentukan dengan memperhatikan karakteristik aliran pada survei pendahuluan.
- b) Bentangkan tali/kabel pada penampang melintang sungai/saluran di lokasi yang telah ditentukan dengan merawas, menggunakan perahu, kereta gantung (*cable car*), *winch cable way* atau dari jembatan.
- c) Ukur lebar penampang basah.
- d) Periksa dan rakit alat ukur.
- e) Catat tinggi muka air dan waktu pada saat dimulainya pengukuran pada kartu pengukuran yang telah disiapkan (seperti pada Tabel A.1, Lampiran A).  
**CATATAN** : Pencatatan tinggi muka air dilakukan setiap 5 - 10 menit apabila perubahan muka air cukup mencolok selama pengukuran.
- f) Turunkan alat pengukur arus hingga bagian bawah alat menyentuh permukaan aliran, tunggu hingga alat tersebut berada pada posisi yang benar (lurus dan berlawanan dengan arah aliran). Baca dan catat angka pada meteran penggantung alat pengukur arus (*sounding reel*).
- g) Turunkan alat pengukur arus hingga dasar sungai. Baca dan catat angka pada meteran penggantung alat pengukur arus.
- h) Hitung kedalaman aliran dengan mengurangkan selisih pembacaan pada butir f) dan butir g).
- i) Tempatkan alat ukur kecepatan pada titik kedalaman yang diinginkan, misalnya pada titik kedalaman 0,2 d dan 0,8 d.
- j) Periksa apakah arah alat sudah benar dan sudut juntaian tali tidak lebih besar dari  $10^0$  terhadap garis vertikal. Bila sudut juntaian lebih besar dari  $10^0$ , lakukan koreksi berdasarkan Tabel 1. Selain itu periksa apakah pencatat putaran baling-baling pengukur kecepatan arus (*counter*) bekerja dengan baik.
- k) Lakukan pengukuran kecepatan aliran pada titik-titik kedalaman seperti diuraikan pada butir i) dan catat pada formulir jumlah putaran baling-baling pada setiap titik pengukuran (seperti pada Tabel A.1, Lampiran A).
- l) Hitung kecepatan aliran dengan bantuan persamaan kecepatan aliran untuk baling-baling alat pengukur arus yang dipergunakan seperti ditunjukkan pada Tabel A.2, Lampiran A.



- m) Ulangi kegiatan dari butir f) sampai dengan butir i) untuk setiap jalur vertikal pada seluruh penampang melintang.
- n) Hitung luas penampang dengan rumus 8 dan 9.
- o) Hitung kecepatan rata-rata penampang dengan rumus 5, 6 dan 7 tergantung dari jumlah titik pengukuran.
- p) Hitung besar debit bagian dengan mengalikan luas penampang tengah dengan kecepatan rata-rata penampang tengah di setiap lajur pengukuran dengan rumus 1.
- q) Jumlahkan seluruh debit bagian penampang.
- r) Catat kembali tinggi muka air dan waktu saat berakhirnya pengukuran pada formulir yang tersedia (seperti pada Tabel A.1, Lampiran A).
- s) Jumlahkan debit bagian untuk mendapatkan debit total pada penampang tersebut.
- t) Jumlahkan seluruh luas penampang bagian.
- u) Tentukan kecepatan rata-rata seluruh penampang dengan rumus 12.
- v) Tentukan tinggi muka air rata-rata dengan rumus 11.
- w) Periksa kembali semua peralatan dan perlengkapan setelah selesai pengukuran.

## 10.2 Prosedur pengukuran debit dengan pelampung

Laksanakan persiapan pengukuran, tahapan pengukuran, penggambaran dan perhitungan debit sebagai berikut.

- a) Kerjakan persiapan pengukuran dengan urutan sebagai berikut.
  - 1) Pilih lokasi pengukuran sesuai dengan ketentuan.
  - 2) Siapkan pelampung.
  - 3) Siapkan peralatan dan perlengkapannya, untuk mengukur penampang basah.
  - 4) Siapkan peralatan dan perlengkapannya untuk mengukur jarak di antara dua penampang melintang.
  - 5) Siapkan peralatan pemberi aba-aba dan rambu-rambu.
  - 6) Siapkan alat pencatat waktu.
  - 7) Siapkan formulir isian data pengukuran penampang basah (Tabel B.1, Lampiran B).
  - 8) Siapkan formulir data pengukuran kecepatan aliran (Tabel B.2, Lampiran B).
  - 9) Siapkan alat tulis yang digunakan.
  - 10) Siapkan kertas milimeter dan alat gambar yang digunakan sesuai kebutuhan.
  - 11) Siapkan formulir perhitungan debit (Tabel B.3, Lampiran B).
  - 12) Perintahkan kepada setiap petugas pengukuran untuk segera melaksanakan tugasnya masing-masing.
- b) Kerjakan tahapan pengukuran penampang basah (catat pada Tabel B.1, seperti contoh terlampir) sebagai berikut.
  - 1) Lakukan pembacaan tinggi muka air pada papan duga air saat mulai pengukuran;
  - 2) Lakukan pengukuran kedalaman dan lebar aliran pada penampang bagian hulu dan hilir;



- 3) Lakukan pembacaan tinggi muka air pada papan duga air saat berakhirnya pengukuran;
- c) Kerjakan tahapan pengukuran kecepatan aliran permukaan (catat pada Tabel B.2, Lampiran B) sebagai berikut.
  - 1) Lakukan pembacaan tinggi muka air pada papan duga air saat mulai pengukuran.
  - 2) Letakkan alat penyipat ruang kurang lebih di tengah-tengah di antara dua penampang hulu dan hilir (lihat Gambar B.2, Lampiran B).
  - 3) Ukur jarak antara penampang hulu dan alat penyipat ruang serta alat penyipat ruang dan penampang hilir.
  - 4) Lepaskan pelampung dari jembatan atau sarana pelepas pelampung lainnya kurang lebih 10 m di sebelah hulu dari penampang bagian hulu.
  - 5) Laksanakan pengukuran sudut azimuth posisi lintasan pelampung pada penampang hulu dan hilir dengan alat penyipat ruang (lihat Gambar B.2, Lampiran B).
  - 6) Catat lama waktu lintasan pelampung dari bagian penampang hulu sampai hilir.
  - 7) Ulangi pekerjaan pada tahap butir 4) sampai dengan 6) hingga semua titik lintasan pelampung yang telah ditentukan selesai diukur.
  - 8) Lakukan pembacaan tinggi muka air pada papan duga air segera setelah pengukuran kecepatan aliran selesai.
  - 9) Catat kejadian penting yang dapat mempengaruhi ketelitian pengukuran kecepatan aliran (misalnya kecepatan angin).
- d) Gambarkan data pengukuran dari Tabel B.1 dan B.2 pada kertas gambar atau kertas milimeter (contoh gambar seperti ditunjukkan pada Gambar B.3) untuk menghitung kecepatan aliran permukaan dengan tahapan sebagai berikut.
  - 1) Gambarkan penampang basah bagian hulu dan bagian hilir dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut.
    - (1) Tentukan skala kedalaman aliran pada sumbu tegak.
    - (2) Tentukan skala lebar aliran pada sumbu datar.
    - (3) Tentukan skala jarak di antara dua penampang bagian hulu dan hilir.
  - 2) Gambar posisi lintasan pelampung (lihat Gambar B.3, Lampiran B).
  - 3) Hitung panjang setiap lintasan pelampung.
  - 4) Hitung kecepatan aliran permukaan setiap lintasan pelampung dengan menggunakan rumus 13.
  - 5) Hitung kecepatan aliran rata-rata pada setiap titik dengan menggunakan rumus 14.
  - 6) Gambarkan hasil perhitungan butir d) dengan posisi gambarnya di tengah-tengah di antara dua gambar penampang, kecepatan aliran permukaan digambarkan pada skala tegak dan lebar aliran digambarkan pada skala mendatar.
  - 7) Tentukan bagian-bagian penampang basah.
  - 8) Tentukan nilai kecepatan aliran permukaan rata-rata untuk setiap bagian penampang basah.
- e) Kerjakan tahapan perhitungan debit (perhitungannya pada Tabel B.3, seperti contoh terlampir) sebagai berikut.



- 1) Hitung luas setiap bagian penampang basah.
- 2) Hitung kecepatan rata-rata setiap bagian penampang basah dengan menggunakan rumus 13 dan 14.
- 3) Hitung debit untuk setiap bagian penampang basah menggunakan rumus 1.
- 4) Hitung debit total dengan rumus 2.
- 5) Hitung tinggi muka air rata-rata dengan rumus 10 atau 11.
- 6) Koreksi semua tahapan perhitungan.
- 7) Betulkan semua kesalahan perhitungan.
- 8) Laporkan semua hasil perhitungan kepada yang bertanggung jawab.

## 11 Laporan pengukuran debit

Laporan pengukuran debit ini disajikan dalam formulir atau kartu pengukuran yang sudah diisi seperti dipresentasikan dalam lampiran, yang isinya meliputi:

- a) nama sungai/saluran terbuka, lokasi, tanggal pengukuran, nama pengukur, jenis alat, nomor alat, rumus alat, lama putaran baling-baling sebelum dan sesudah pengukuran, waktu mulai dan akhir pengukuran, tinggi muka air mulai dan akhir pengukuran, keadaan cuaca, keadaan dasar sungai dan keterangan lain-lain;
- b) hasil kecepatan rata-rata untuk seluruh penampang;
- c) hasil perhitungan luas bagian-bagian penampang basah;
- d) hasil perhitungan debit pengukuran;
- e) paraf pengukur;
- f) gambar.



## Lampiran A (informatif)

### Alat ukur arus tipe baling-baling

**Tabel A.1 Contoh formulir untuk pengukuran debit dengan alat ukur arus**

#### KARTU PENGUKURAN DEBIT

Pos Duga Air : Cijolang - Cikadu  
 Tanggal : 27 Januari 2005  
 Lebar Sungai : 41,00  
 Muka Air : mulai: 4.96  
 Waktu : mulai: 11.30  
 Kondisi AWLR : beroperasi  
 Nomor Alat : 65834/2--55532

Luas Penampang : 46,650  
 Selesai : 4.91, Rata-rata: 4.94  
 Selesai : 12.20, Lama Pengukuran : 50 menit

Nomor Pengukuran : 6  
 Nama Pengukur : Sutjipto & Kru  
 Kecepatan Rata-rata : 0,872  
 Debit : 40,683

Rumus :  $n < 0,33 \quad V = 0,4630n + 0,022$   
 $n > 0,37 \quad V = 0,5180n + 0,004$

Metode Pengukuran : Merawas

#### Data Pengukuran Debit

Rai	Lebar	Dalam	Dalam Kincir	Jumlah Putaran	Waktu	Kecepatan		Luas	Debit
						Pd Titik	Rata-rata		
0,0	0,00	0,00		0		Muka Air kiri Jam 11.20			
2,0	2,00	0,50	0,60	31	40"	0,525	0,525	1,00	0,525
4,0	2,00	0,40	0,60	39	40"	0,661	0,661	0,80	0,529
6,0	2,00	0,30	0,60	42	40"	0,712	0,712	0,60	0,427
8,0	2,00	0,30	0,60	39	40"	0,661	0,661	0,60	0,397
10,0	2,00	0,30	0,60	45	40"	0,763	0,763	0,60	0,458
12,0	2,00	0,40	0,60	47	40"	0,797	0,797	0,80	0,638
14,0	2,00	0,60	0,60	62	40"	1,051	1,051	1,20	1,261
16,0	2,00	0,75	0,20	79	40"	1,339	1,263	1,50	1,895
18,0	2,00	0,80	0,20	75	40"	1,271	1,153	1,60	1,844
			0,80	61	40"	1,034			
20,0	2,00	0,90	0,20	72	40"	1,220	1,026	1,80	1,846
			0,80	49	40"	0,831			
22,0	2,00	1,10	0,20	70	40"	1,187	1,145	2,20	2,518
			0,80	65	40"	1,102			
24,0	2,00	1,20	0,20	80	40"	1,356	1,178	2,40	2,827
			0,80	59	40"	1,000			
26,0	2,00	1,40	0,20	60	40"	1,017	0,933	2,80	2,611
			0,80	50	40"	0,848			
28,0	2,00	1,50	0,20	66	40"	1,119	1,009	3,00	3,026
			0,80	53	40"	0,898			



**Tabel A.1 Contoh formulir untuk pengukuran debit dengan alat ukur arus  
(Lanjutan)**

**Data Pengukuran Debit**

Rai	Lebar	Dalam	Dalam Kincir	Jumlah Putaran	Waktu	Kecepatan		Luas	Debit
30,0	2,00	1,70	0,20	69	40"	1,170	0,924	3,40	3,142
			0,80	40	40"	0,678			
32,0	2,00	1,90	0,20	56	40"	0,949	0,839	3,80	3,188
			0,80	43	40"	0,729			
34,0	2,00	2,30	0,20	58	40"	0,983	0,873	4,60	4,016
			0,80	45	40"	0,763			
36,0	2,00	2,50	0,20	63	40"	1,068	0,814	5,00	4,068
			0,80	33	40"	0,559			
38,0	2,00	2,60	0,20	50	40"	0,848	0,594	5,20	3,086
			0,80	20	40"	0,339			
40,0	1,50	2,50	0,20	35	40"	0,593	0,636	3,75	2,383
			0,80	40	40"	0,678		46,65	40,683
41,0	0,00	0,00	Muka Air Kanan Jam 12.20 MA 4.91						





Tabel A.2 - Persamaan kecepatan aliran

Current Meter Model : OSS-B1      Serial No. 98-29

Fan No. A      Serial No. 99-32

Diameter : 100 mm      Pitch : 0,125 m

Type of Support Composite

Method of Calibration : Average Value Equation

$$n < 0,74V = 0,1322 n + 0,0141 \text{ m/s}$$

$$0,74 < n < 11,53V = 0,1277 n + 0,0175 \text{ m/s}$$

$$n > 11,53V = 0,1284 n + 0,0095 \text{ m/s}$$

Starting Velocity = 0,025m/s

Maximum Velocity = 5,000 m/s

Note : 'n' denotes the number of revolutions of the propeller per sond and 'V' the water velocity per sond.

Current Meter Model : OSS-B1      Serial No. 98-29

Fan No. 2      Serial No. 99-12

Diameter : 125 mm      Pitch : 0,5 m

Type of Support Composite

Method of Calibration : Average Value Equation

$$n < 0,74V = 0,1322 n + 0,0141 \text{ m/s}$$

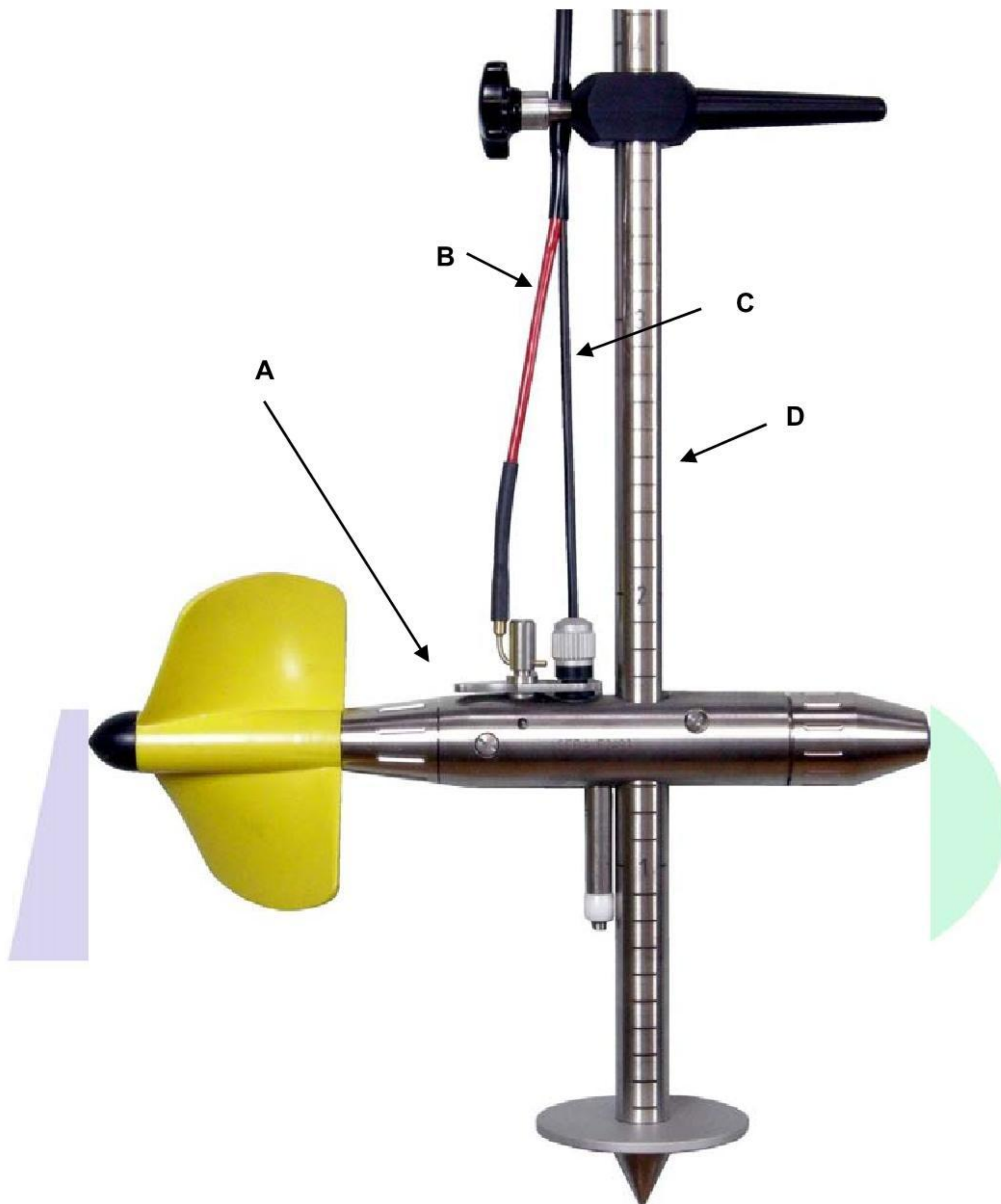
$$n > 11,53V = 0,1284 n + 0,0095 \text{ m/s}$$

Starting Velocity = 0,040 m/s

Maximum Velocity = 10,000 m/s

Note : 'n' denotes the number of revolutions of the propeller per sond and 'V' the water velocity per sond.





Keterangan gambar:

A : alat ukur arus

B dan C : kabel kontak ( + dan - )

D : batang pengukur

**Gambar A.1 - Contoh alat ukur arus berporos horizontal**





Keterangan gambar:

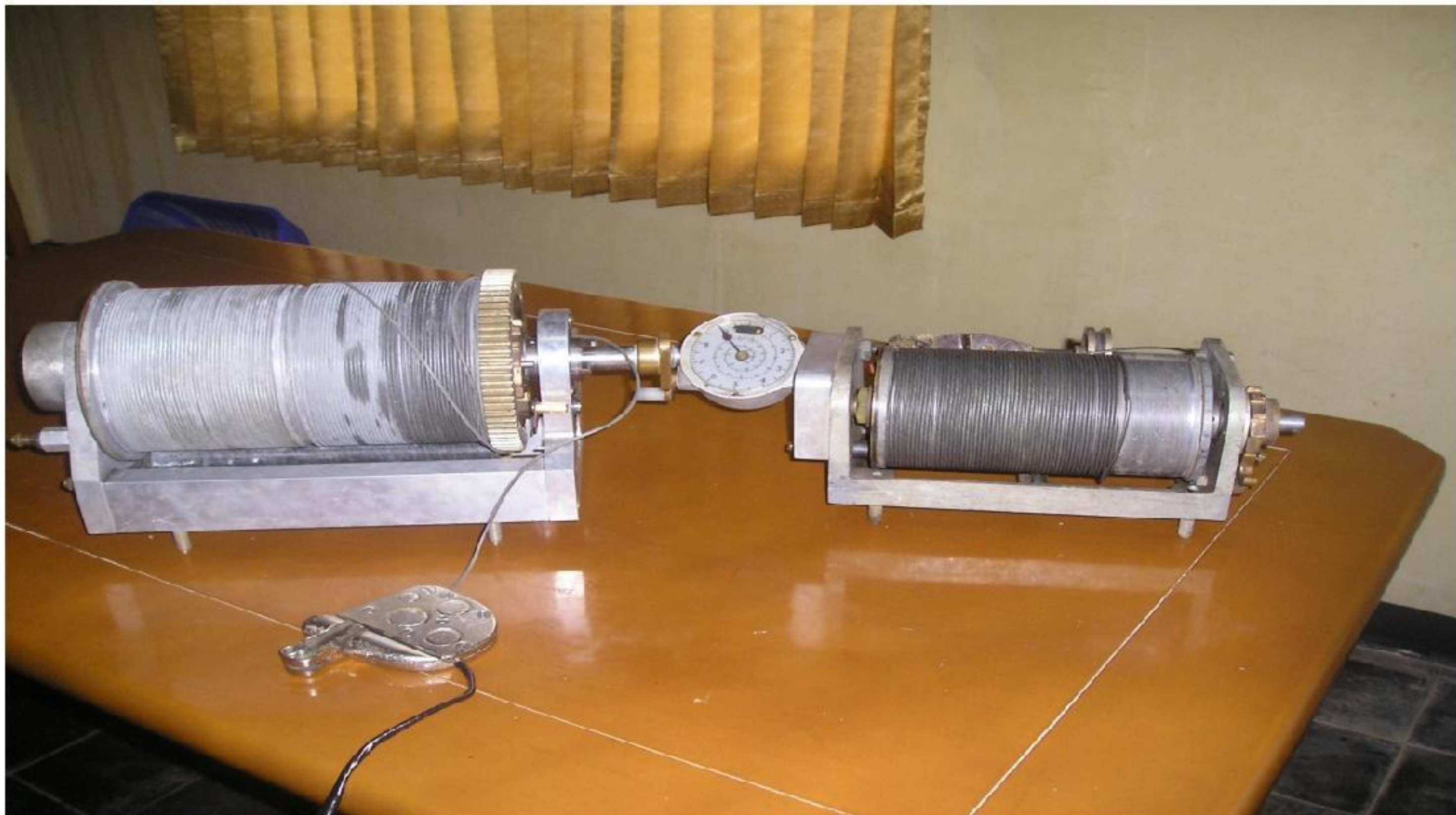
1. *Bridge crane* lengkap dengan kabel baja pengukur kedalaman, pemberat dan alat penghitung putaran baling-baling (*counter*)
2. *Current meter*
3. Kabel penggantung berfungsi sebagai pengukur kedalaman dan penghantar arus listrik.
4. *Sounding reel* berfungsi sebagai penggulung kabel dan alat petunjuk kedalaman.
5. *Counter* untuk menghitung jumlah putaran baling-baling.
6. Pemberat dengan berbagai variasi tergantung dari kecepatan arus)

**Gambar A.2 - Contoh foto alat pengukur debit dengan menggunakan *bridge crane***

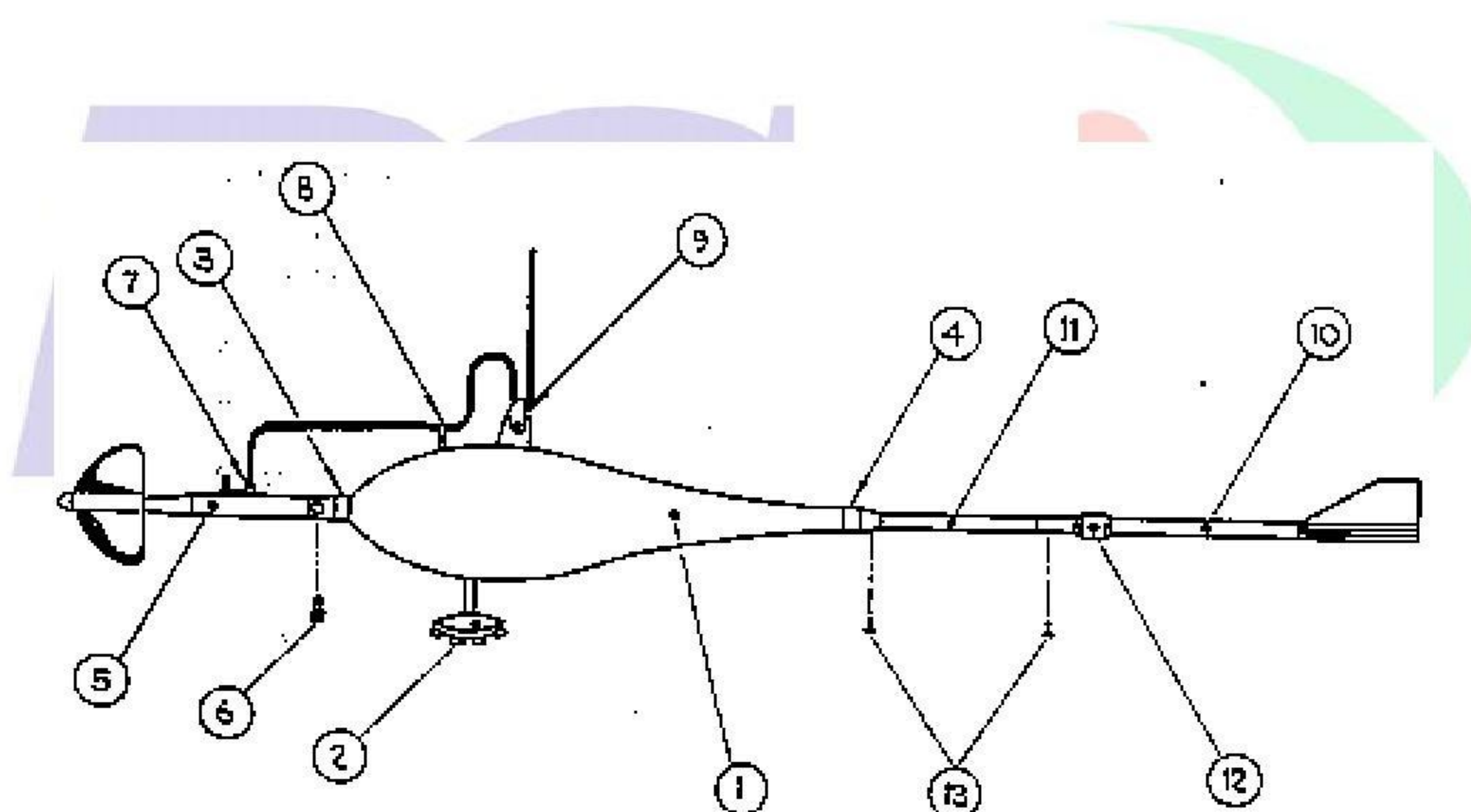


**Gambar A.3 - Contoh foto alat ukur lebar (kabel baja)**





Gambar A.4 - Contoh foto sounding reel



Keterangan:

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1. 25 Kg Weight Body | 8. T Plug             |
| 2. Pad               | 9. C1 Connector       |
| 3. Nose Adaptor      | 10. Tail Fin Assembly |
| 4. Tail Adaptor      | 11. Extension         |
| 5. Current Meter     | 12. Counterweight     |
| 6. Retaining Screw   | 13. Retaining Screw   |
| 7. Angle Plug        |                       |

Gambar A.5 Contoh pemberat tipe GFN 25 dan baling-baling tipe OSS B1





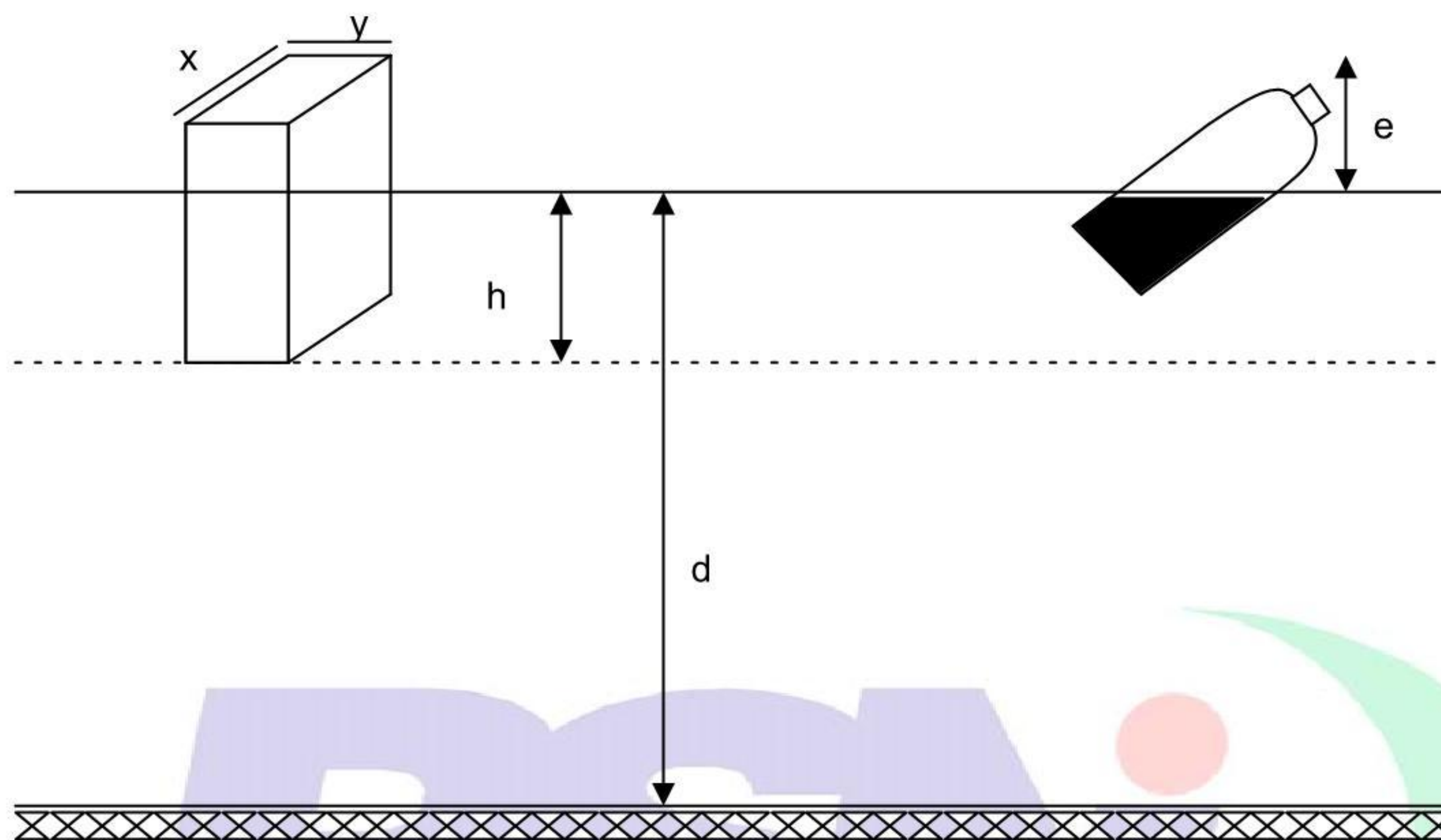
Gambar A.6 - Contoh foto pengukuran dari jembatan menggunakan *bridge crane*





**Lampiran B**  
(informatif)

**Alat ukur menggunakan pelampung**



Keterangan gambar :

d adalah kedalaman air (m)

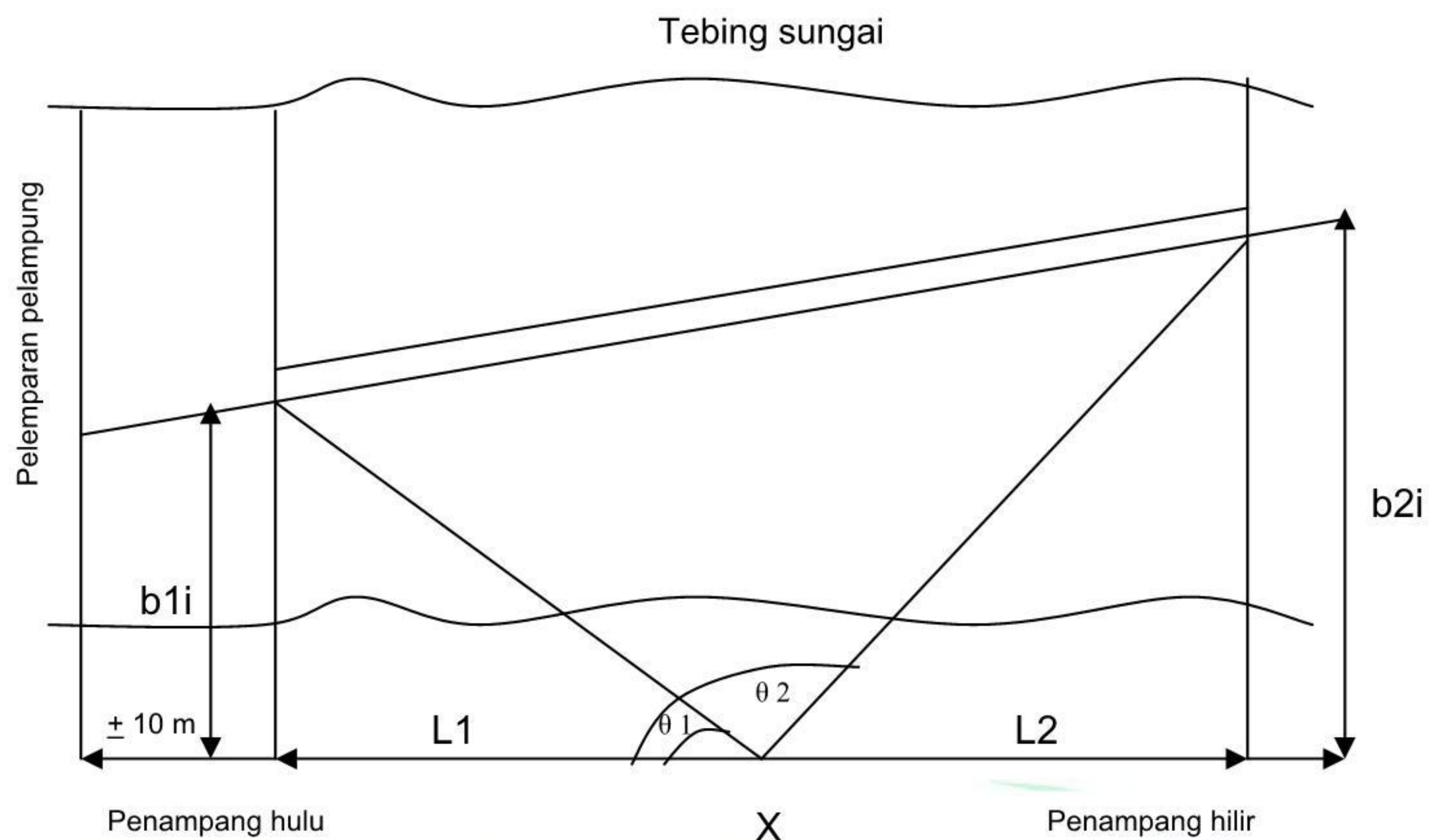
h adalah kedalaman pelampung (m)

x,y adalah ukuran pelampung (berkisar antara 10-30 cm)

e adalah bagian pelampung di atas permukaan air (berkisar antara 5-10 cm)

**Gambar B.1 - Sketsa pelampung permukaan**



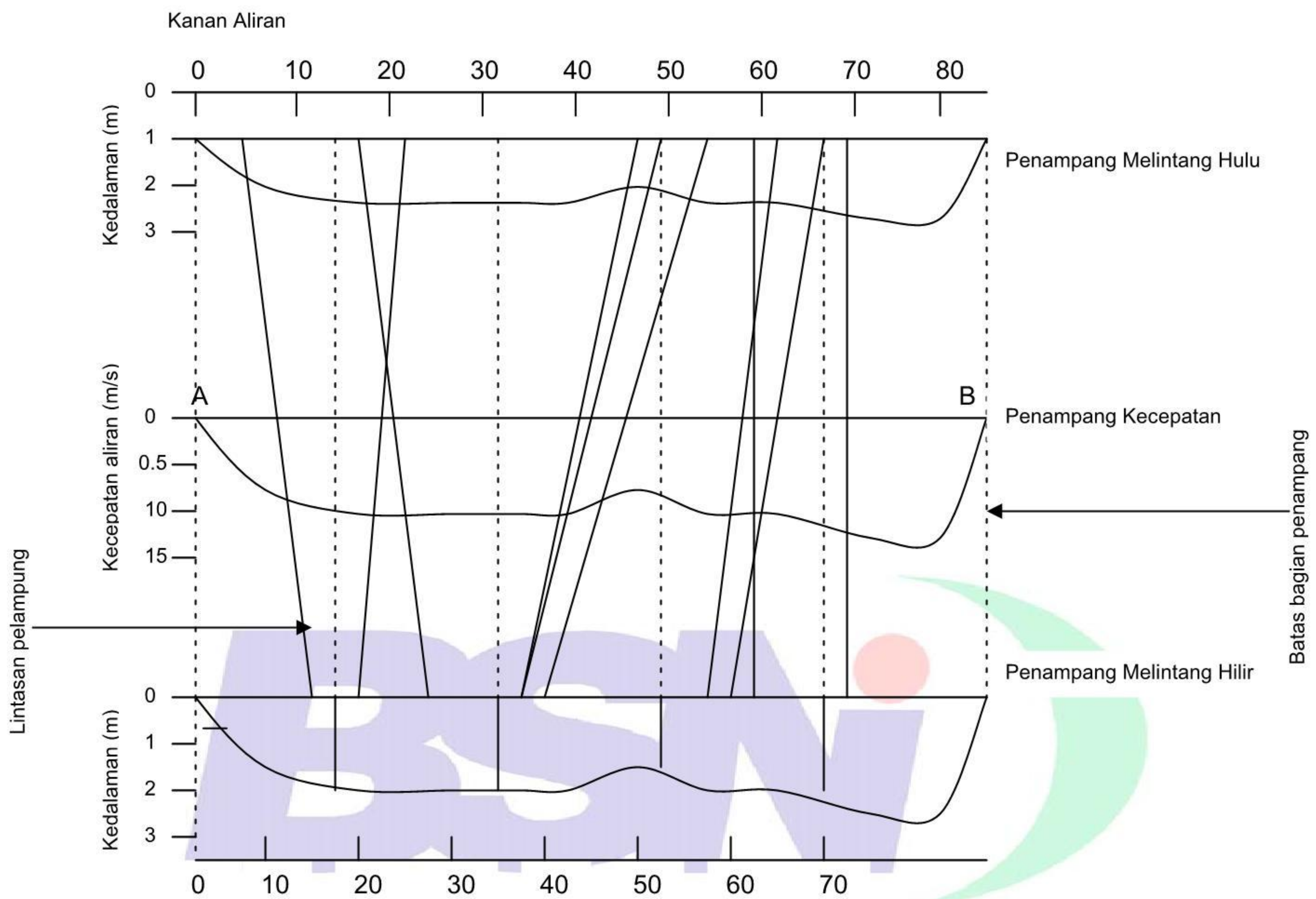


Keterangan gambar:

- X adalah letak alat penyipat ruang
- $\theta_2$  adalah azimuth posisi pelampung di penampang hulu
- $\theta_1$  adalah azimuth posisi pelampung di penampang hilir
- $L_i$  adalah panjang lintasan pelampung ke  $i$
- $l_1$  adalah jarak penyipat ruang dengan penampang hulu
- $l_2$  adalah jarak penyipat ruang dengan penampang hilir
- $b_{1i}$  adalah jarak antara posisi pelampung yang ke  $i$  dari suatu titik pada garis perpanjangan penampang hulu
- $b_{2i}$  adalah jarak antara posisi pelampung yang ke  $i$  dari suatu titik pada garis perpanjangan penampang hilir

**Gambar B.2 - Contoh sketsa lintasan pelampung**





Gambar B.3 - Contoh sketsa penampang pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung



**Tabel B.1 Kartu pengukuran penampang basah**  
**Pengukuran debit dengan pelampung**

Sungai : Cimanuk Tanggal : 2 Pebruari 1981  
 Tempat : Tomo Waktu mulai : 10.15  
 Diukur oleh : Sutjipto Waktu selesai : 11.30  
 M.A. : 1,50 m Dihitung oleh

Penampang Hulu		Penampang Hilir	
Jarak dari tepi (m)	Kedalaman (m)	Jarak dari tepi (m)	Kedalaman (m)
0	0	0	0
5	1,33	5	1,28
10	0,90	10	1,50
15	1,10	15	1,62
20	0,85	20	1,60
25	0,82	25	1,75
30	0,70	30	1,65
40	1,42	40	1,80
45	2,04	45	2,05
55	2,53		2,10
60	2,36		2,38
70	2,80		
75	1,49		
77	0		

Diperiksa oleh :

Penanggung jawab :



**Tabel B.2 Kartu pengukuran kecepatan aliran****Pengukuran debit dengan pelampung**

Sungai : Cimanuk  
 Tempat : Tomo  
 Diukur oleh : Sutjipto  
 M.A. : 1,50 m

Tanggal : 2 Pebruari 1981  
 Waktu mulai : 10,15  
 Waktu selesai : 11,30

Jarak antar 2 penampang basah :

Pelampung	Sudut azimuth		Jarak dari tepi kanan aliran sungai		Panjang lintasan (m)	Waktu (s)	Kecepatan pelampung (m/s)
	Hulu	Hilir	Hulu (m)	Hilir (m)			
1	229°61'	337°36'	6,1	12,5	201,7	237	0,85
2	225°13'	340°59'	18,1	19,6	205,0	204	1,00
3	223°23'	338°43'	22,5	14,9	204,6	267	0,77

Diperiksa oleh :

Penanggung jawab :



Tabel B.3 Kartu perhitungan debit

## Pengukuran debit dengan pelampung

Sungai : Cimanuk  
 Tempat : Tomo  
 Diukur oleh : Sutjipto

Tanggal : 2 Pebruari 1981  
 M.A. rata-rata : 1,50 m  
 Debit : 119,9 m<sup>3</sup>/s

Bagian	Luas bagian penampang (m <sup>2</sup> )			Kecepatan aliran di batas bagian penampang		Kecepatan aliran (m/s)		Debit (m <sup>3</sup> /s)
	Hulu	Hilir	Rata-rata	Kanan	Kiri	Permukaan	Rata-rata	
1	15,2	15,6	15,4	0	0,74	0,37	0,314	4,836
2	13,75	22,2	18	0,74	0,95	0,845	0,722	12,996
3	20,2	23,5	21,9	0,95	1,28	1,45	0,947	20,739
4	34,55	26,8	30,7	1,28	1,4	1,34	1,139	34,967
5	35,9	24,2	32,1	1,4	0	1,7	1,445	46,385
Koefisien Kecepatan : 0,85				Jumlah 119,9				

Diperiksa oleh :

Penanggung jawab :



## Bibliografi

SNI 03-2414-1991, *Tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka.*

SNI 03-2819-1992, *Tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus tipe baling-baling.*

SNI 03-2820-1992, *Tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan pelampung permukaan.*

